

К ВОПРОСУ О СОПРОТИВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗГИБУ С ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛОЙ ПРИ РАЗНОЗНАЧНОЙ ЭПЮРЕ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ

А.С. Залесов

НИИЖБ, г. Москва

О.А. Рочняк, В.И. Гашко

БПИ, г. Брест

Особенности сопротивления железобетонных элементов с разнозначной эпюрой изгибающих моментов при изгибе с поперечной силой мало изучены. Ниже приводятся основные результаты исследований балок, работающих в таких условиях.

Эксперименты проведены на железобетонных двухпролетных балках прямоугольного поперечного сечения. Конструктивное решение образцов показано на рис. 1 и отражено в таблице 1.

Таблица 1

Конструктивные характеристики опытных балок основной группы

Шифр балки	Размеры поперечного сечения в пролете			Размеры поперечного сечения на опоре			Величина преднапряжения арматуры	
	b, см	h, см	h ₀ , см	b, см	h, см	h ₀ , см	нижней, МПа	верхней, МПа
БН-II-1	15.2	30.2	27.1	15.3	30.1	27.0	0	0
БН-II-1А	15.3	30.5	27.3	15.3	30.3	27.1	0	0
БН-II-2	15.4	30.6	27.2	15.2	30.5	26.9	437.0	399.0
БН-II-2А	15.2	30.2	27.0	15.3	30.2	26.8	421.8	429.4
БН-II-3	15.1	30.8	27.2	15.2	30.6	27.1	807.0	859.8
БН-II-3А	15.4	30.2	26.9	15.3	30.3	26.9	737.2	689.7
БН-II-4	15.1	30.5	27.2	15.0	30.1	27.0	813.2	418.0
БН-II-4А	15.3	30.6	27.2	15.3	30.4	27.3	773.3	446.5
БН-II-5	15.1	30.4	26.9	15.2	30.3	27.0	807.5	0
БН-II-5А	15.0	30.3	27.0	15.2	30.2	27.1	763.8	0
БН-I-3	15.3	30.4	27.3	15.2	30.1	27.2	768.1	745.4
БН-I-3А	15.1	30.2	27.1	15.0	30.3	27.4	742.2	725.0
БН-III-3	15.1	30.3	27.1	15.2	30.4	27.1	750.5	710.6
БН-III-3А	15.0	30.2	27.0	15.1	30.3	27.3	763.3	757.8

Варьируемыми факторами являлись относительный "пролет среза" a/h (следовательно, изменялось отношение опорного момента к пролетному $M_{sup}/M_{оп}$) и величина предварительного натяжения верхней и нижней продольной арматуры. В таблице 2 изложены основные характеристики испытаний.

Основные характеристики испытаний

Шифр балки	Относительный "пролет" среза, a/h_0	Уровень относительного предварительного напряжения верхней арматуры, $\sigma'_{sp}/\sigma_{0.2}$	Уровень относительного предварительного напряжения нижней арматуры, $\sigma'_{sp}/\sigma_{0.2}$	Схема испытаний Эл. "М" Эл. "Q"
БН-П-1	3.0	0	0	
БН-П-2	3.0	0.55	0.55	
БН-П-3	3.0	1.0	1.0	
БН-П-4	3.0	0.55	1.0	
БН-П-5	3.0	0	1.0	
БН-І-3	1.5	1.0	1.0	
БН-ІІ-3	4.5	1.0	1.0	

Для армирования опытных образцов применялись арматурные стержни класса А-V Ø 14 мм ГОСТ 5781-82, устанавливаемые с предварительным натяжением, и стержни класса А-П Ø 12 мм ГОСТ 5781-82; поперечная арматура класса В-I Ø 5 мм ГОСТ 6727-80.

Для приготовления бетонной смеси использовались цемент марки 400, песок с модулем крупности 1,8 и объемной массой 1640 кг/м³, щебень с крупностью зерен 5÷20 мм, пустотностью 44,8%. Бетон соответствовал классу по прочности на сжатие В25÷В30.

Физико-механические характеристики арматуры и бетона определялись по стандартным методикам.

Натяжение арматуры на упоры осуществлялось с помощью гидравлических домкратов. Величина напряжения регулировалась комплектом шайб, укладываемых между упором и полуавтоматическим зажимом. Контроль равномерности усилий в арматурных стержнях осуществлялся с помощью мессур на базе 30 см, индикаторов перемещений часового типа с ценой деления 0,001 мм, образцовых манометров гидросистемы и образцового эталонного динамометра ДОС-50.

Рабочее нагружение опытных балок (гидравлическими домкратами ДГС-50) производилось этапами, составляющими $\approx 1/10$ от ожидаемой разрушающей нагрузки, с выдержкой на каждом из них 10-15 минут.

За это время снимались показания индикаторов, прогибомеров, фиксировалось образование и развитие трещин, замерялась ширина их раскрытия. Показания приборов на каждом этапе фиксировались дважды - сразу же после приложения нагрузки и после выдержки.

Величины усилий при образовании трещин и исчерпанию несущей способности опытных балок приведены в таблице 3. Морфология трещинообразования и характер разрушения образцов показаны на рис. 2. Все образцы разрушились по наклонному сечению. В таблице 4 помещены опытные значения поперечных сил и расчетные величины сопротивления балок действию поперечных сил, подсчитанные по СНиП 2.03.01-84.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что при использовании подхода СНиП 2.03.01-84 для оценки прочности на действие поперечных сил элементов с разнозначной эпюрой изгибающих моментов в расчетные зависимости, основанные на методе сечений, необходимо ввести коррективы. Количественное соответствие экспериментальных и расчетных данных улучшается при учете нагельной силы Q_0 (табл. 4). Величина Q_0 определялась, рассматривая арматурный стержень как балку на упруго-пластическом основании (бетоне).

Характер трещинообразования опытных элементов позволяет также полагать, что для расчета приемлема модель раскосной фермы. Отметим, что фермы из-за пересекающихся раскосов, различной жесткости поясов и узлов являются многократно статически неопределимыми системами и расчет их трудоемкий. Несмотря на последнее обстоятельство, включение ферменной аналогии в проект новых норм в качестве одного из методов расчета железобетонных балок, работающих с разнозначной эпюрой изгибающих моментов, целесообразно и оправдано.

Шифр балки	Относительный "пролет" среза a/h_0	Уровень относительного преднапряжения арматуры $\sigma_{сп}/\sigma_{0.2}$		Усилия при образовании трещин на верхней грани			Усилия при образовании трещин на нижней грани			Усилия при образовании трещин			Усилия при исчерпании несущей способности балки		
		нижней	верхней	$M_{упр}$, кН·м	$M_{спр}$, кН·м	Q , кН	$M_{упр}$, кН·м	$M_{спр}$, кН·м	Q , кН	$M_{упр}$, кН·м	$M_{спр}$, кН·м	Q , кН	$M_{упр}$, кН·м	$M_{спр}$, кН·м	Q , кН
БН-II-1	3	0	0	17.4	9.5	33.7	26.0	14.2	50.3	21.9	12.0	42.5	65.8	36.0	127.5
БН-II-1a	3	0	0	17.5	9.6	33.9	26.2	14.4	50.8	26.3	14.4	51.0	57.1	31.2	110.5
БН-II-2	3	0.52	0.53	26.3	14.4	51.0	34.7	19.0	67.3	44.2	24.2	85.6	74.6	40.8	144.5
БН-II-2a	3	0.54	0.49	34.5	18.9	66.8	46.6	25.5	90.3	60.0	33.1	117.3	81.2	44.4	157.3
БН-II-3	3	1.00	1.06	44.3	24.3	85.9	61.2	33.5	118.5	65.7	35.4	127.3	90.9	49.7	176.0
БН-II-3a	3	0.92	0.85	43.5	23.8	84.3	57.2	31.3	110.8	53.8	29.5	104.3	85.6	46.8	165.8
БН-II-4	3	1.01	0.52	34.5	18.9	66.9	48.1	26.3	93.2	52.7	28.8	102.0	83.4	45.6	161.8
БН-II-4a	3	0.96	0.55	34.7	19.0	67.3	52.6	28.8	101.8	60.0	32.9	116.3	82.5	45.1	159.8
БН-II-5	3	0	0	17.8	9.7	34.5	30.7	16.8	186.3	47.6	12.9	152.3	69.2	18.8	221.1
БН-II-5a	3	0	0	20.4	14.3	50.5	39.5	21.6	187.5	42.4	11.5	135.4	63.3	17.2	203.9
БН-I-3	1.5	0.91	0.91	59.1	16.0	188.7	58.3	15.8	186.3	47.6	12.9	152.3	69.2	18.8	221.1
БН-I-3a	1.5	0.90	0.90	53.6	14.6	171.3	58.7	15.9	187.5	42.4	11.5	135.4	63.3	17.2	203.9
БН-III-3	4.5	0.89	0.89	43.7	37.1	67.3	52.4	44.4	80.6	71.2	60.4	109.6	80.1	68.0	123.0
БН-III-3a	4.5	0.94	0.94	44.4	37.7	68.4	52.9	44.9	81.4	68.4	58.1	105.3	81.6	69.3	125.6

Опытные и расчетные значения поперечных сил

Шифр балки	Характер разрушения балки	Поперечная сила при разрушении Q, кН	Величина сопротивления балки действию поперечных сил	
			$Q_{b,sw}$ по СНИП 2.03.01-84, кН	$Q_{b,sw,s}$ с учетом "нагельного эффекта", кН
			$Q/Q_{b,sw} \times 100\%$	$Q/Q_{b,sw,s} \times 100\%$
БН-П-1	по наклонному сечению	127.5	93.9 / 136 %	109.4 / 116 %
БН-П-1а	чению	110.5	91.7 / 120 %	107.2 / 103 %
БН-П-2	по наклонному сечению	144.5	98.6 / 147 %	111.3 / 129 %
БН-П-2а	чению	157.3	101.3 / 155 %	114.0 / 137 %
БН-П-3	по наклонному сечению	176.0	104.7 / 168 %	123.2 / 149 %
БН-П-3а	чению	165.8	103.1 / 161 %	121.6 / 136 %
БН-П-4	по наклонному сечению	161.8	103.1 / 157 %	115.8 / 139 %
БН-П-4а	чению	159.8	101.1 / 155 %	113.8 / 140 %
БН-П-5	по наклонному сечению	150.0	103.8 / 144.5 %	122.3 / 123 %
БН-П-5а	чению	139.7	103.1 / 145 %	123.6 / 113 %
БН-П-3	по наклонному сечению	221.1	145.1 / 152 %	171.3 / 129 %
БН-П-3а	чению	203.9	143.9 / 141 %	170.1 / 119 %
БН-П-3	по наклонному сечению	123.3	101.4 / 122 %	114.7 / 108 %
БН-П-3а	чению	125.6	102.0 / 123 %	114.7 / 109 %